

49 с. 2. *Кремнев В.В., Месяц Г.А.* Методы умножения и трансформации импульсов в сильноточной электронике. – Новосибирск: Наука, 1987. – 137 с. 3. *Резвых К.А.* Расчет электростатических полей. – М.: Энергия, 1967. – 111 с. 4. *Герасимов А.И.* Многоканальные разрядники с лапельными управляющими электродами, их развитие и применение. – ПТЭ. – 2004. – № 1. – С. 7-8. 5. *Дайон М.И., Долгошеин Б.А., Ефременко В.И. и др.* Искровые камеры. – М.: Атомиздат, 1967. – 30 с.

*Поступила в редколлегию 20.11.2007*

УДК 621.373

***А.И.ИВАНЬКИНА***; НТУ «ХПИ»

## **ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

Метою даної роботи є розробка генератора з використанням високовольтного трансформатора, що дозволяє отримувати високовольтні імпульси до 20кВ з тривалістю 10мкс і частотою проходження імпульсів от 800 Гц до 1,5 кГц.

The purpose of this work is development of generator with the use of high-voltage transformer, that allows to get high-voltage pulses to 20 kV with duration of 10  $\mu$ s and pulse repetition frequency from 800 Hz to 1.5 kHz.

Высокие технологии, использующие электрохимические и электродинамические процессы в газах, реализуются при помощи высоковольтных импульсных установок.

По сравнению с 80-90 гг. прошлого столетия тенденция на улучшение эффективности работы установок связана с повышением быстродействия коммутрующих элементов и увеличением частотного диапазона. Важным требованием улучшения энергетических показателей электрофизических процессов является необходимость повышения крутизны фронта импульсов, так как это требование приводит к повышению напряженности электрического поля в разрядном промежутке и созданию благоприятных условий для зажигания разряда и ионизационных процессов. Также на энергетические показатели электрофизических процессов значительно влияет длительность импульса напряжения, воздействующего на разряд, т.к. кинетические процессы в газах при воздействии импульса происходят за время до единиц микросекунд, и при воздействии импульса, длительность которого превышает это время, в разрядном промежутке происходит нежелательный разогрев газа и электродной системы.

В связи с вышесказанным перед разработчиками высоковольтных им-

пульсных установок стоит задача формирования импульсов малой длительности с крутым фронтом нарастания напряжения. В литературе [1,2] известно применение субмикросекундных генераторов, принцип действия которых заключается в том, что, сжатие энергии происходит в звеньях магнитной компрессии, а также применение генераторов с использованием высоковольтных импульсных трансформаторов [3]. Однако, данные генераторы нельзя использовать на частотах свыше 1 кГц, так как магнитные элементы, в первом случае, работают в режиме насыщения, что приводит к резкому возрастанию тока и выделению тепла в них, во втором случае высоковольтный импульсный трансформатор с коэффициентом трансформации 50 и более имеет значительные паразитные параметры: индуктивность рассеивания и собственную емкость, из-за большого количества витков вторичной обмотки и значительной доли высоковольтной изоляции в объеме трансформатора. Это приводит к значительному увеличению габаритов и стоимости трансформатора.

Экспериментальный трансформатор на 100 кВ, мощностью до 2кВт был изготовлен в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», на магнитопроводе из электротехнической стали толщиной 80 мкм, коэффициент трансформации 250, при этом он имел индуктивность рассеивания 350 мГн, а расчетная собственная емкость трансформатора составила 28 мкФ. Такие параметры трансформатора привели к тому, что длительность импульса за счет завала фронта и спада импульса напряжения составила 200 мкс, что не позволило использовать данный трансформатор для частот свыше 1200 Гц, при этом его габариты составили 600×600×400 мм. Уменьшение же числа витков первичной обмотки приводит к снижению индуктивности рассеивания, но при этом значительно возрастают потери в магнитопроводе, так как он вынужден работать в области более глубокого насыщения.

Целью данной работы явилась необходимость разработки генератора с использованием высоковольтного трансформатора, позволяющего получать высоковольтные импульсы с длительностью до 10 мкс и частотой следования до 1,5 кГц. Данный генератор разрабатывался для получения озона.

## ОПИСАНИЕ ГЕНЕРАТОРА

Схема генератора представлена на рис. 1. Состоит из выпрямителя сетевого напряжения, т.е. диодного моста  $VD1$ , пульсации выпрямленного напряжения сглаживаются конденсатором  $C1$ , ток зарядки конденсатора ограничивается резистором  $R1$ , который через 0,5 секунды закорачивается при помощи реле, управляемого таймером. Через дроссель  $L$  и диод  $VD2$  заряжается конденсатор  $C2$  после того как напряжение на конденсаторе достигнет максимума, а ток будет равен нулю, срабатывает транзистор  $YT1$  и конденсатор  $C2$  разряжается на первичную обмотку трансформатора  $T1$ .

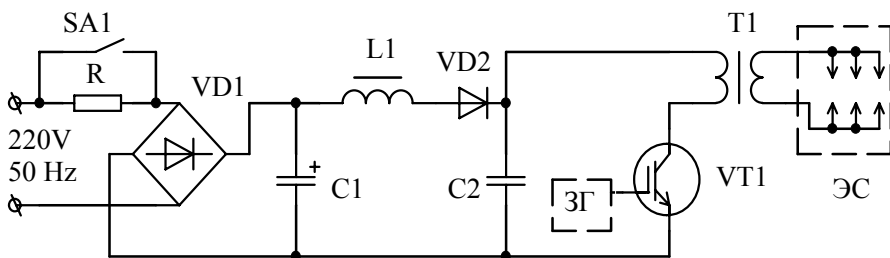


Рисунок 1 – Схема генератора озона

Напряжение через вторичную обмотку трансформатора передается на систему электродов (ЭС), в которой происходит высоковольтный разряд и генерируется озон.

Трансформатор изготовлен на феррите марки 3000НМ, количество витков первичной обмотки 70, вторичной – 900, следовательно, коэффициент трансформации 13. Габариты трансформатора, состоящего из магнитопровода и обмоток –  $120 \times 100 \times 73$  мм.

Традиционно в высоковольтных трансформаторах предельно уменьшают индуктивность рассеивания, то есть обмотки размещают на одном керне, это приводит к резкому ухудшению условий охлаждения первичной обмотки и увеличению эффекта близости по сравнению с расположением первичной и вторичной обмоток на разных кернах сердечника. В данном случае обмотки разнесены, что является естественным ограничением входной мощности. Поэтому для компенсации ограничения мощности используется дроссель  $L$  [4], который создает совместно с  $C1$  и  $C2$  колебательный контур. Регулировка индуктивности дросселя (в данном генераторе дроссель намотан на магнитопроводе из материала 50НП с зазором, регулировка зазора позволяет изменять индуктивность), приводит к изменению собственной частоты контура и приближает ее к частоте коммутации транзистора  $VT1$ . Коммутация  $VT1$  осуществляется задающим генератором  $3Г$ . Приближение собственной частоты контуров к частоте коммутации приводит к увеличению напряжения на первичной и вторичной обмотке трансформатора. Непременным условием увеличения напряжения является превышение накопительной емкости над емкостью, образованной собственной емкостью трансформатора и емкостью нагрузки  $C'_0$  [3]. На рис. 2 изображена схема замещения генератора озона.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 показан внешний вид описываемого генератора, выходная мощность данного генератора составляет 300 Вт, частота коммутации изменяется в пределах от 800 Гц до 1500 Гц, выходное напряжение – от 4,5 кВ до 20 кВ.

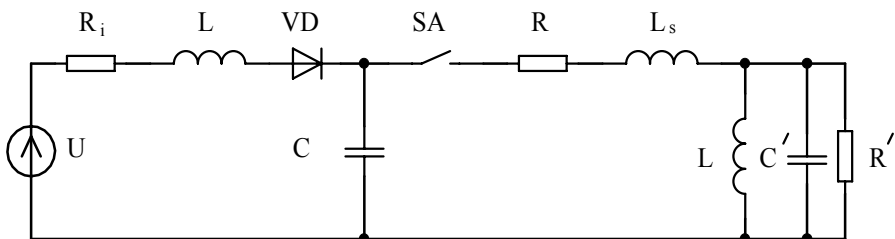


Рисунок 2 – Схема замещения:  $U$  – источник постоянного напряжения;  $R_i$  – внутреннее сопротивление источника;  $L$  – индуктивность дросселя;  $VD$  – диод;  $C$  – накопительная емкость;  $L_s$  – индуктивность рассеивания трансформатора,  $L_s = L_{s1} + L_{s2}$  ( $L_s$  равна сумме индуктивностей рассеивания первичной и вторичной обмотки);  $R$  – сопротивление обмоток;  $C'$  – собственная емкость трансформатора и нагрузки;  $L_\mu$  – индуктивность намагничивания;  $R'_H$  – сопротивление нагрузки

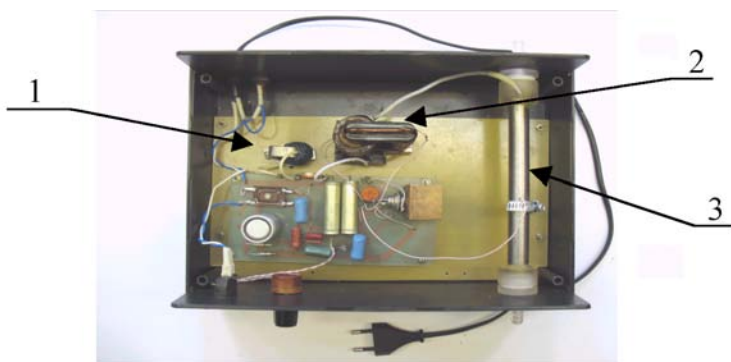


Рисунок 3 – Внешний вид генератора: 1 – источник питания; 2 – высоковольтный трансформатор, намотанный на феррите 3000НМ типа ПК30×16; 3 – разрядная трубка, где происходит генерация озона

Разрядная трубка представляет собой два коаксиальных металлических электрода, между которыми располагается стеклянный барьер, разрядный промежуток – 0,8 мм.

Форма импульса напряжения, измеренного на первичной стороне трансформатора, показана на осциллограмме рис. 4. Цена деления – 0,05В/дел. по оси ординат, 20 мкс/дел. по оси абсцисс.

Форма импульса напряжения, измеренного на высоковольтной обмотке изображена на рис. 5. Цена деления – 0,5В/дел по оси ординат, 20мкс/дел. по оси абсцисс

Измерения проводились при помощи осциллографа С8-13 и резистивного делителя напряжения, изготовленного из резисторов типа ТВО, практически безындукционных, коэффициент деления – 16000. Измерения фиксировались при частоте следования пачек импульсов -1000Гц, при этом, мак-

симальное амплитудное значение напряжения на первичной обмотке -800 В, на вторичной обмотке – 18 кВ.

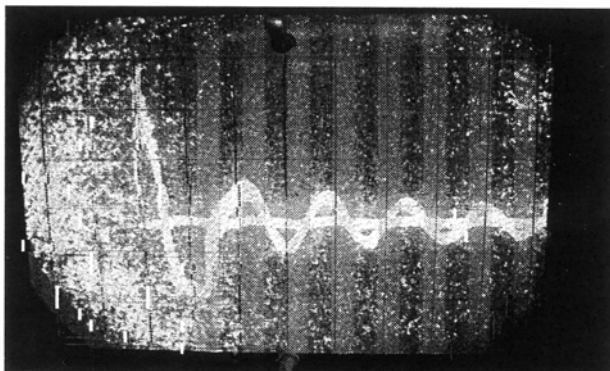


Рисунок 4 – Форма напряжения на первичной обмотке трансформатора

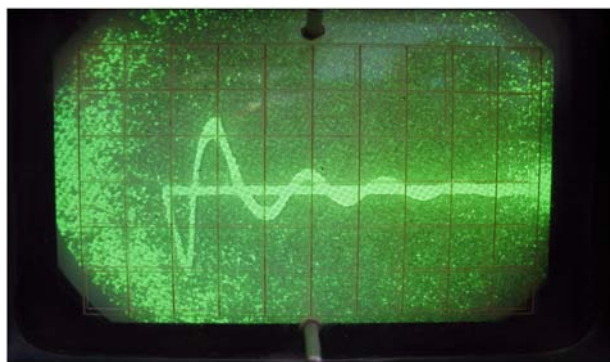


Рисунок 5 – Форма импульсов напряжения высоковольтной обмотки

При изменении частоты коммутации от 800 Гц до 1,5 кГц наблюдается пропорциональная зависимость амплитуды выходных импульсов от частоты коммутации. Амплитуда выходных импульсов изменяется от 4,5 кВ до 20 кВ. Данная закономерность значительно упрощает схемное решение источника питания генератора: не требуется дополнительных узлов для регулировки напряжения.

Концентрация озона измерялась оптическим газоанализатором «Циклон-5.11» (Россия, Фирма «Оптэк»). Минимальная концентрация составила 0,8 г/м<sup>3</sup> при частоте 800 Гц, увеличивалась до 7,5 г/м<sup>3</sup> пропорционально частоте коммутации. Разряд осуществлялся в атмосферном воздухе без предварительной подготовки, расход воздуха через разрядный промежуток – 0,06 м<sup>3</sup>/час.

## **ВЫВОДЫ:**

1. Для получения высоковольтных импульсов значительной амплитуды и необходимой длительности целесообразно подбирать параметры колебательных контуров, образованных источником питания, высоковольтным трансформатором и нагрузкой таким образом, чтобы приближать их собственные частоты к частоте коммутации.
2. Существует интервал линейной зависимости изменения амплитуды высоковольтных импульсов от частоты коммутации.
3. Реализация п.1, п.2 приводит к упрощению изготовления высоковольтного трансформатора и в целом, генератора озона, что приводит к значительному снижению стоимости изготовления последнего.

**Список литературы:** 1. *Г.А.Месяц*. Импульсная энергетика и электроника. – М.: Наука, 2004. – 704 с. 2. *Н.П. Поляков*. Наносекундные озонаторы // Приборы и техника эксперимента. – 2004. – № 5. – С. 126-129. 3. *К.А.Желтов* Пикосекундные силовоточные электронные ускорители // М., Энергоатомиздат, 1991. – С. 62-85. 4. *Ю.А.Быстров, И.Г.Мироненко* Электронные цепи и устройства // Высшая школа, 1989. – С.49-55.

*Поступила в редколлегию 08.11.2007*

УДК 621.316.9

***Д.Г.КОЛИУШКО***, канд.техн.наук; НТУ «ХПИ»

## **ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГООБЪЕКТОВ**

У статті представлено опис графічного інтерфейсу, який входить до складу програмного комплексу для проведення розрахунків заземлювальних пристроїв вільної конфігурації.

In article the description of the graphic interface, which is a part of a program complex for calculation of grounding systems of free configuration is presented.

Заземляющее устройство (ЗУ) является обязательным элементом каждого электроэнергообъекта, обеспечивающее, главным образом, нормальное функционирование оборудования и безопасность обслуживающего персонала, а также другие функции, которые подробно освещены в [1]. Начиная с 2003 г. проводится электромагнитная диагностика ЗУ различных объектов электроэнергетики по методике описанной в [2]. Указанная методика состоит из трех основных этапов: экспериментального; расчетного и этапа выдачи рекомендаций [3].

Для выполнения второго этапа электромагнитной диагностики было не-